

## **Análisis multicriterio del riesgo de inundación mediante el uso del software ArcGIS. PRO en la cuenca del Río Cauca en el municipio de Popayán, departamento del Cauca**

Autores:

Odilia Castro Yonda - [ocastro@unadvirtual.edu.co](mailto:ocastro@unadvirtual.edu.co),  
Jhon Alexander Buesaquillo Menza - [jabuesaquillom@unadvirtual.edu.co](mailto:jabuesaquillom@unadvirtual.edu.co),  
Liseth Fernanda Flor Pillimue - [lfflorp@unadvirtual.edu.co](mailto:lfflorp@unadvirtual.edu.co),  
Yeiner Fabián Salazar - [yfsalazara@unadvirtual.edu.co](mailto:yfsalazara@unadvirtual.edu.co),  
Diego Pérez Lucumi - [dperezlu@unadvirtual.edu.co](mailto:dperezlu@unadvirtual.edu.co)  
Evangelina Parra Pérez - [evangelina.parra@unad.edu.co](mailto:evangelina.parra@unad.edu.co)

### **Resumen:**

Para el análisis del riesgo de inundación aplicamos técnicas de modelación espacial que incluyeron el procesamiento de datos vectoriales y ráster, además de la aplicación de análisis multicriterio y la generación de mapas temáticos analizando las veintisiete mil novecientas siete hectáreas (27.907 Ha) de la cuenca del río Cauca dentro del municipio de Popayán. Donde encontramos que en las zonas más bajas y con poca capacidad de drenaje siete mil trescientas cuarenta y cuatro hectáreas (7.344 Ha) dentro de la cuenca presentan un muy alto riesgo de inundación, además la zona Urbana e industrial de la cuenca concentrada mayormente en la parte media y plana del municipio y que abarcan siete mil cuatrocientas ochenta y tres hectáreas (6.483 Ha) presenta un alto riesgo de inundación, mientras que el 21,9% del área de la cuenca en pie de loma equivalente a seis mil ciento siete hectáreas (6.107 Ha) presenta un nivel de riesgo medio, por otra parte la zona de media montaña equivalente al 14,8% de la cuenca con cuatro mil ciento veinte seis hectáreas (4.126 Ha) presenta un nivel de riesgo bajo y la zona de alta montaña de esta cuenca que cubren dos mil ochocientos cuarenta y cinco hectáreas (2.845 Ha) equivalentes al 10,2% de la cuenca, tienen un nivel de riesgo de inundación muy bajo. Este tipo de análisis permiten desarrollar estrategias para la mitigación del impacto ambiental y paisajístico en el ordenamiento y la gestión sustentable de la Cuenca del río Cauca en el municipio de Popayán permitiendo reducir escenarios de riesgo, promoviendo una mayor conciencia en la prevención de desastres.

**Palabras clave:** Mitigación del riesgo, modelación espacial, sostenibilidad territorial, inundación, desastres.

### **Introducción**

Popayán regularmente registra episodios de inundaciones particularmente en áreas de uso agropecuario, Según datos del plan municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres en Popayán (PMGRDP 2.017). Por eso, este tipo de estudios han tomado vital importancia para el desarrollo de planes estratégicos formulando recomendaciones y soluciones a problemáticas agroambientales mediante el uso de los Sistemas de Información Geográfica SIG., para el aseguramiento de la calidad de vida de la población al tomar decisiones y acciones pertinentes en la gestión y sostenibilidad de sus cuencas hidrográficas. La cuenca del río Cauca dentro del municipio de Popayán ha sido altamente intervenida y presenta asentamientos anormales de alta concentración muy cercanos a sus canales de drenaje y debido a las condiciones topográficas, climatológicas y fenómenos asociados al calentamiento global se requiere de un monitoreo y vigilancia mediante la utilización de herramientas telemáticas como en este caso el uso del software ARCGIS PRO, donde pudimos desarrollar un producto cartográfico digital determinando el riesgo de inundación para proponer una mejor gestión de esta cuenca y su ordenamiento territorial. “Ya que el desarrollo urbanístico descontrolado potencializa el factor de riesgo por inundación” (Urrea-Ceferino et al., 2023) Este análisis multicriterio nos permitió realizar un estudio integral aplicando métodos de modelación espacial, promoviendo el desarrollo de competencias técnicas, necesarias para abordar los retos de la sostenibilidad territorial.

## **Objetivos**

### **Objetivo general:**

Analizar procesos multicriterio de riesgos de inundación mediante el uso del software ArcGIS. PRO en la cuenca del Río Cauca en el municipio de Popayán, departamento del Cauca

### **Objetivos específicos:**

Identificar las zonas de riesgo por inundación en la cuenca del río Cauca en el municipio de Popayán.

Elaborar un mapa temático que represente la distribución de las zonas de riesgo por inundación en la cuenca del río Cauca en Popayán.

Proponer recomendaciones para el ordenamiento, la gestión y la sostenibilidad de la cuenca del río Cauca en el municipio.

## **Descripción del Área de estudio**

Popayán es la Capital del departamento del Cauca cuenta con 318.00 habitantes, ubicada en el Valle de Pubenza, en el suroccidente colombiano a los 2°27' Latitud norte y 76°37'18" de longitud Oeste, entre la Cordillera Occidental y la Cordillera Central con una extensión de 512 km<sup>2</sup>, presenta una altitud de 1.760 metros sobre el nivel del mar, con temperaturas promedio de 18 °C. y una precipitación entre 1,800 y 2,500 mm/año y su actividad económica principal es la producción agropecuaria (Alcaldía de Popayán ,2.025).

Las características del relieve y la riqueza hídrica de este municipio, sumadas sus condiciones climáticas lo hacen susceptible a inundaciones que por lo regular se presentan en la zona urbana y en áreas rurales de la zona baja del municipio y generalmente ocurren en los picos de lluvia en los meses de octubre a noviembre o abril a mayo.

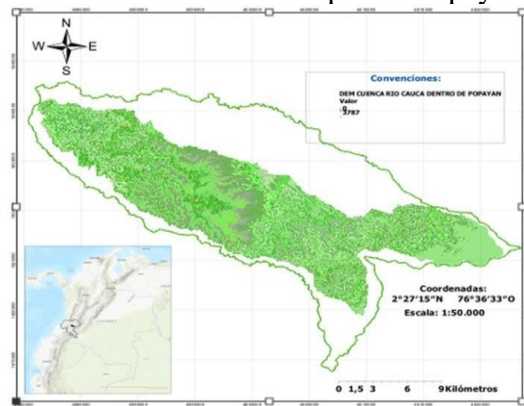
Para la delimitación del área de influencia de la cuenca del río Cauca dentro del municipio de Popayán, realizamos el Cálculo con ARGIS PRO, que nos arrojó un resultado de área de veintisiete mil novecientos siete hectáreas (27.907 Ha), equivalentes a doscientos setenta y nueve Kilómetros Cuadrados (279 km<sup>2</sup>).y tiene una influencia directa sobre el 54% del área total del municipio de Popayán.

Las zonas de La Yunga y Campobello son particularmente vulnerables a las inundaciones; su ubicación en cotas muy bajas de la cuenca del río Cauca, combinada con la topografía de baja pendiente, facilita la acumulación de agua y los desbordamientos significativos durante las temporadas de lluvias. El centro poblado de Popayán también enfrenta un riesgo considerable, ya que el casco urbano ha sufrido inundaciones por encharcamientos y el colapso de sumideros y alcantarillado, lo que indica una vulnerabilidad generalizada, especialmente en las áreas cercanas a los drenajes principales. Asimismo, Julimito Alto y Villa Esmeralda (Cajete), al ser zonas periurbanas o rurales, son propensas a las crecientes del río Cauca y sus afluentes como el Gualimbío, lo que las expone a la acumulación de agua y desbordamientos.



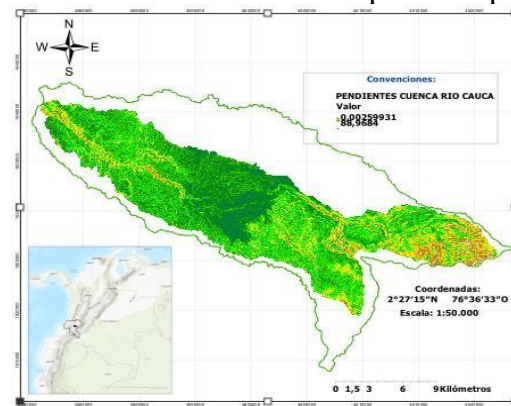
La Figura 5 ilustra la cobertura del suelo clasificada según el Nivel 2. Esta característica es crucial para evaluar y clasificar el riesgo asociado a cada tipo de cobertura dentro de la cuenca. En la Figura 6, se presenta el ráster correspondiente al mes con la mayor precipitación registrada dentro de la cuenca. Este procesamiento proporciona una visualización de las áreas con mayor intensidad de lluvia, un factor significativo para análisis hidrológicos.

Figura 3. Modelo digital de elevación (DEM) Cuenca dentro del municipio de Popayán.



Elaboración propia, 2025

Figura 4. Capa ráster de pendientes de la cuenca del Río Cauca dentro del municipio de Popayán.



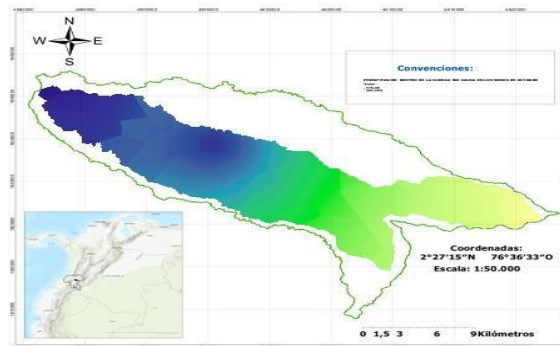
Elaboración propia, 2025

Figura 5. Capa Ráster de cobertura de tierras dentro de la cuenca “Disuelta”



Elaboración propia, 2025

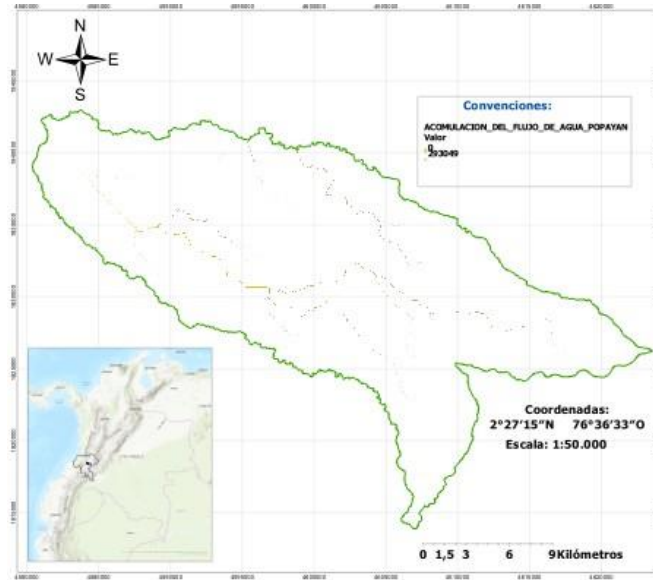
Figura 6. Capa Ráster del mes de mayor precipitación dentro de la cuenca



Elaboración propia, 2025

La Figura 7 ilustra la acumulación de flujo y los drenajes obtenidos a partir del procesamiento del Modelo Digital de Elevación (DEM). Este análisis hidrológico se basa en la dirección del flujo, proporcionando información esencial sobre cómo el agua se acumula y se mueve a través del terreno.

Figura 7. Capa ráster de acumulación de flujo de los drenajes con “Desviación Típica”



Elaboración propia, 2025

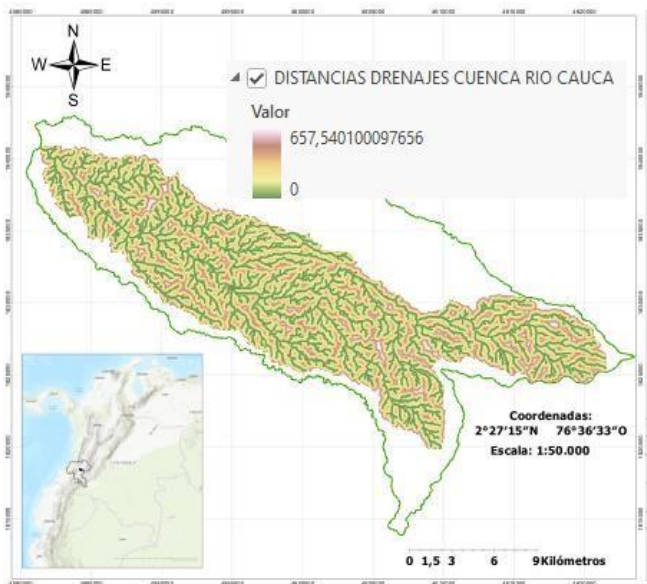
## Fase 2. Geoprocesos hidrológicos y espaciales sobre los DEM de la Cuenca:

Analizamos y modelamos el comportamiento y generación del flujo de agua, sobre el área de la cuenca.

- ✓ Se verifico el valor máximo de acumulación de flujo.
- ✓ Se hizo la reclasificación del ráster de acumulación de flujo
- ✓ Calculamos las distancias de las celdas desde los drenajes origen más cercano.

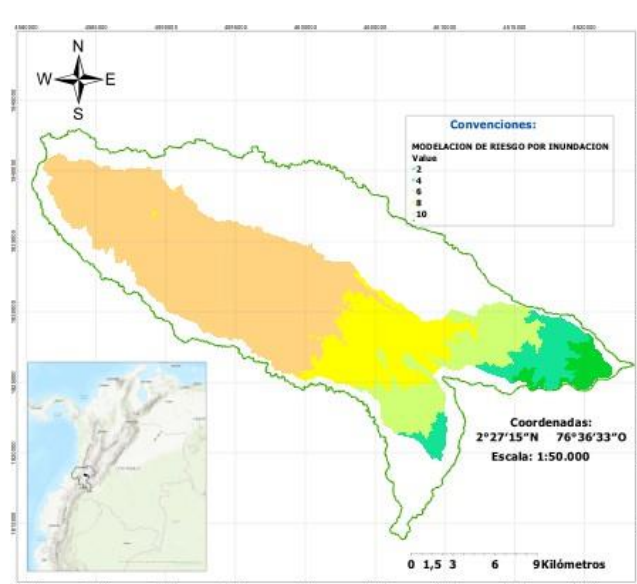
La Figura 8, ilustra la distancia de los drenajes obtenida mediante la "Desviación Típica" de la acumulación de flujo. Este análisis hidrológico revela cómo los principales drenajes de la cuenca ejercen un área de influencia sobre el suelo circundante. La Figura 9 muestra la división de la cuenca en niveles de elevación utilizando el Modelo Digital de Elevación. Esta representación es directamente relevante para identificar las áreas vulnerables a inundaciones, especialmente aquellas de baja elevación, que son más susceptibles a la acumulación de agua.

Figura 8. Capa ráster de acumulación de flujo de los drenajes con "Desviación Típica"



Elaboración propia, 2025

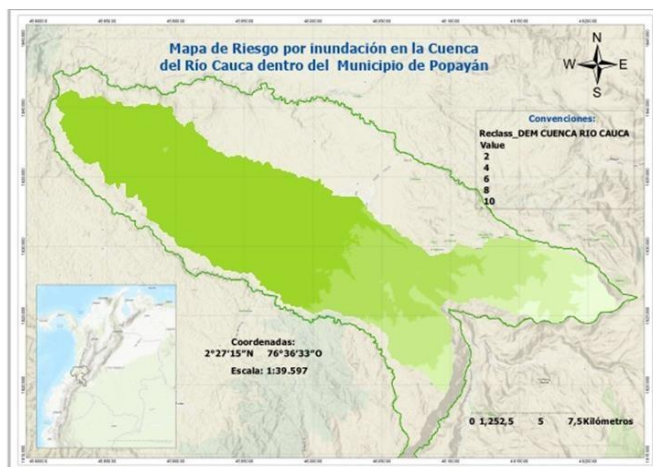
Figura 9. Mapa de modelación de Riesgo de Inundación en la cuenca del río Cauca en Popayán



Elaboración propia, 2025

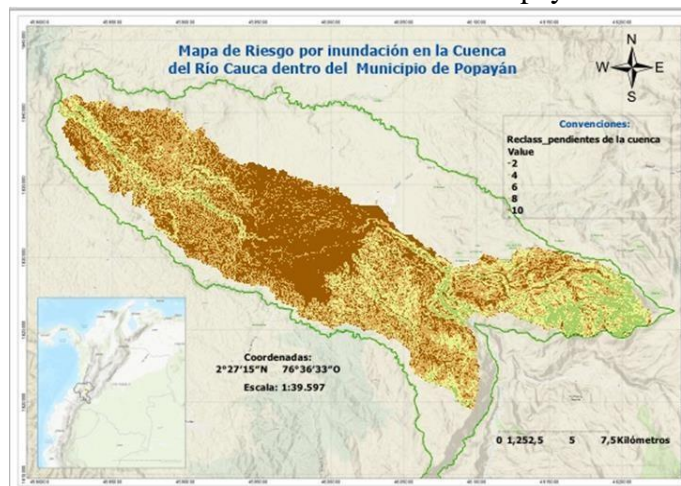
**Fase 3. Modelación del riesgo de inundación de la cuenca río Cauca en Popayán.** Cada variable fue reclasificada en cinco clases mediante el método de rupturas naturales (Natural Breaks) y normalizada a una escala común la figura 10 muestra los diferentes niveles de riesgo siendo el 10 las cotas de baja elevación y la de mayor vulnerabilidad. La figura 11 ilustra las pendiente reclasificadas mostrando como más susceptibles a las área de depósitos aluviales en la cercanía del río cauca como zonas de baja pendientes

Figura 10. Reclasificación del modelo de elevación digital DEM Cuenca del río Cauca en Popayán



Elaboración propia, 2025

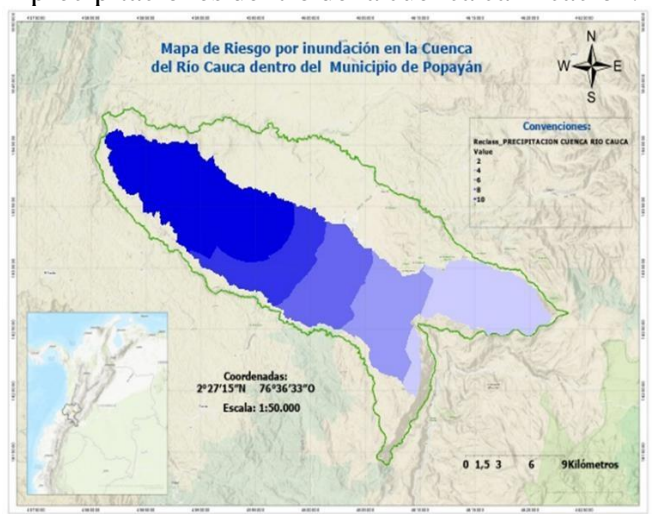
Figura 11. Reclassificación del ráster de pendientes de la cuenca del río Cauca en Popayán



Elaboración propia, 2025

La precipitación en el la cuenca es variada debido a sus característica físico natural la figura 12, nos indica los diferentes niveles de precipitación siendo el más alto para la cuenca baja lo que es otro factor determinante para determinar los niveles de riesgo, en la figura 13 se muestra la reclasificación de las distancia de drenajes.

Figura 12. Reclassificación del ráster de precipitaciones dentro de la cuenca calificación.



Elaboración propia, 2025

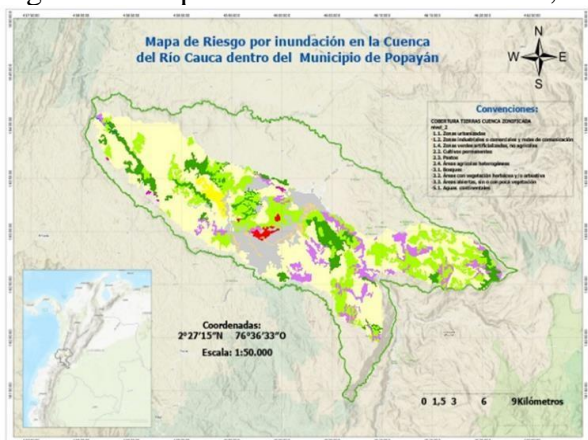
Figura 13. Reclassificación de distancias de los drenajes dentro de la cuenca.



Elaboración propia, 2025

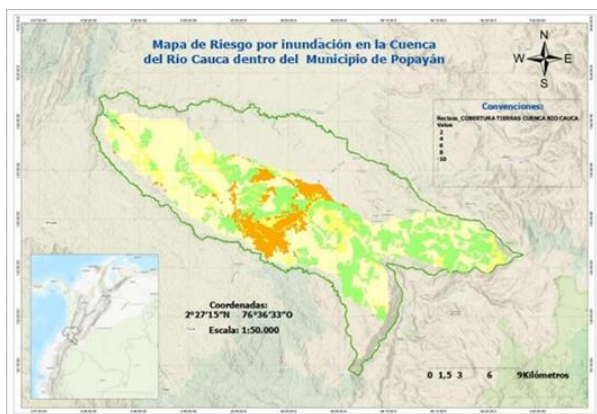
Con respecto a la clasificación de cobertura de tierras la figura 14, muestra cómo se clasificó el nivel 2 y este se relacionó con zonas vulnerables tomando en cuenta su tipo de uso y la figura 15 ilustra la relación del uso del suelo con los niveles de riesgo.

Figura 14. Mapa de Cobertura de la Tierras, clasificada en el nivel 2 de usos



Elaboración propia, 2025

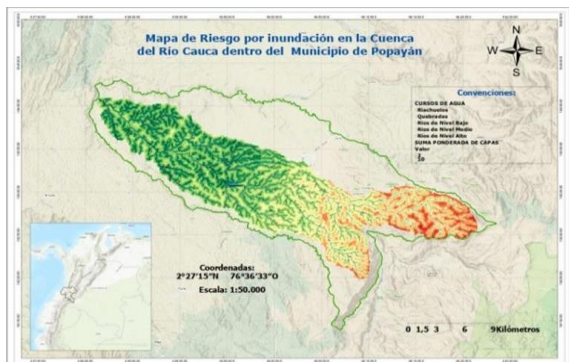
Figura 15. Mapa de Cobertura de la Tierras, Reclasificada en el nivel de riesgo.



Elaboración propia, 2025

Para la modelación del riesgo de inundación en la Cuenca del río Cauca en Popayán Aplicamos Suma ponderadas (DEM , cobertura de la tierra, pendiente, distancia drenajes, precipitación) Reclasificada en niveles de riesgo (1,2,3,4,5) como lo muestra la figura 16.

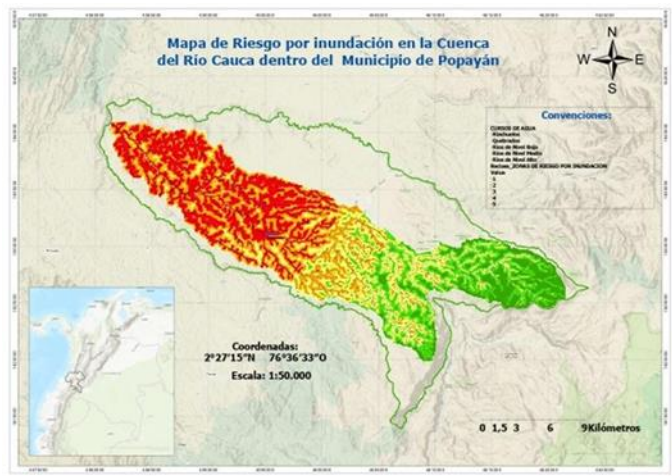
Figura 16. Mapa de la suma ponderada que permitió combinar las múltiples capas de datos.



Elaboración propia, 2025

Para obtener reclasificación de riesgo y su mapa Las ponderaciones se asignaron con base en juicio experto, considerando la influencia relativa de cada factor en la generación de riesgo de inundación. La figura 17 muestra con su coloración las áreas más propensas a inundación.

Figura 17. Mapa de Reclasificación de la Ponderación en 5 clases.



Elaboración propia, 2025

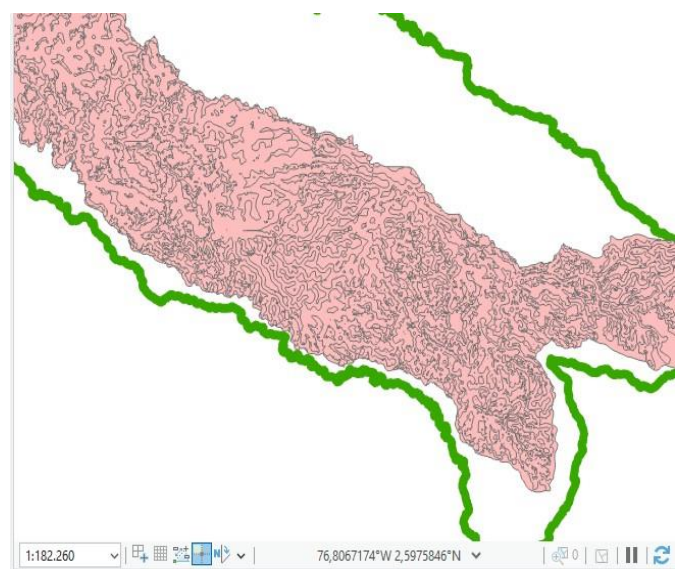
**Fase 4. Generación del Mapa Ráster:** Estimación de clasificación cualitativa y cuantitativa. El mapa ráster fue convertido a formato vectorial mediante la herramienta “Raster to Polygon”. La figura 18 muestra la vectorización y la figura 19 ilustra el proceso des suavizado.

Figura 18. Mapa vectorial de zonas de riesgo de inundación en la cuenca del río Cauca en Popayán



Elaboración propia, 2025

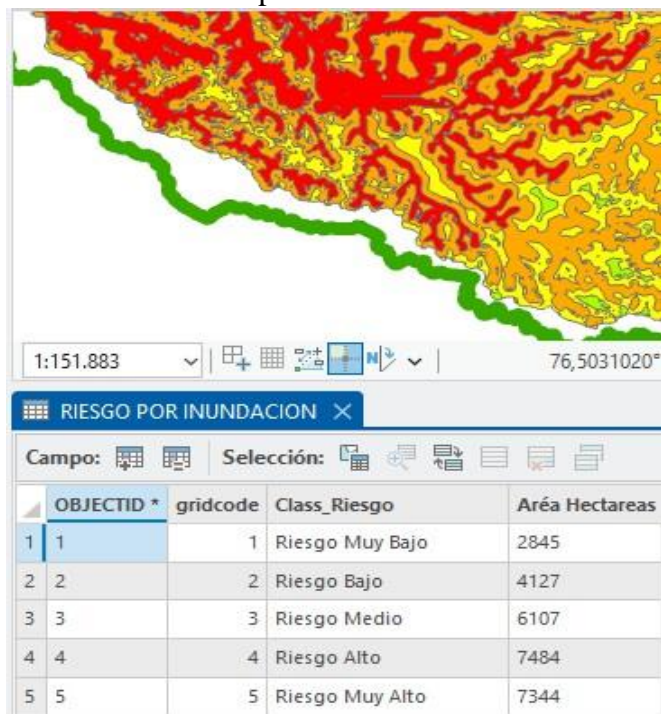
Figura 19. Aplicación del geoproceto llamado Suavizar polígono



Elaboración propia, 2025

Se aplicó un geoproceso de disolución sobre el atributo “gridcode” para simplificar la geometría y evitar redundancias de información en la tabla de la figura 20 , se puede observar el resultado del proceso y el la figura 21, se ajustó la simbología con los colores característicos para identificar riesgo.

Figura 20. Se aplicó el Geoproceso de Dissolve para simplificar los datos



Elaboración propia, 2025

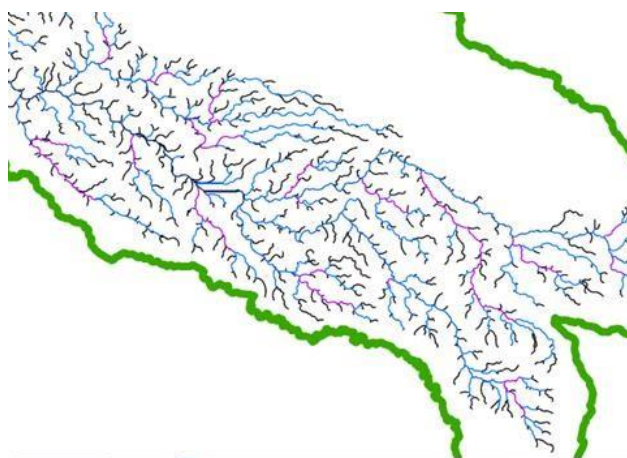
Figura 21. Ajuste de la simbología



Elaboración propia, 2025

Se aplicó el proceso de suavizar en la figura 22, a los vectores de los cursos de agua pertenecientes a la cuenca, mediante el proceso (Suavizar línea – Smooth line) de Streams\_mun

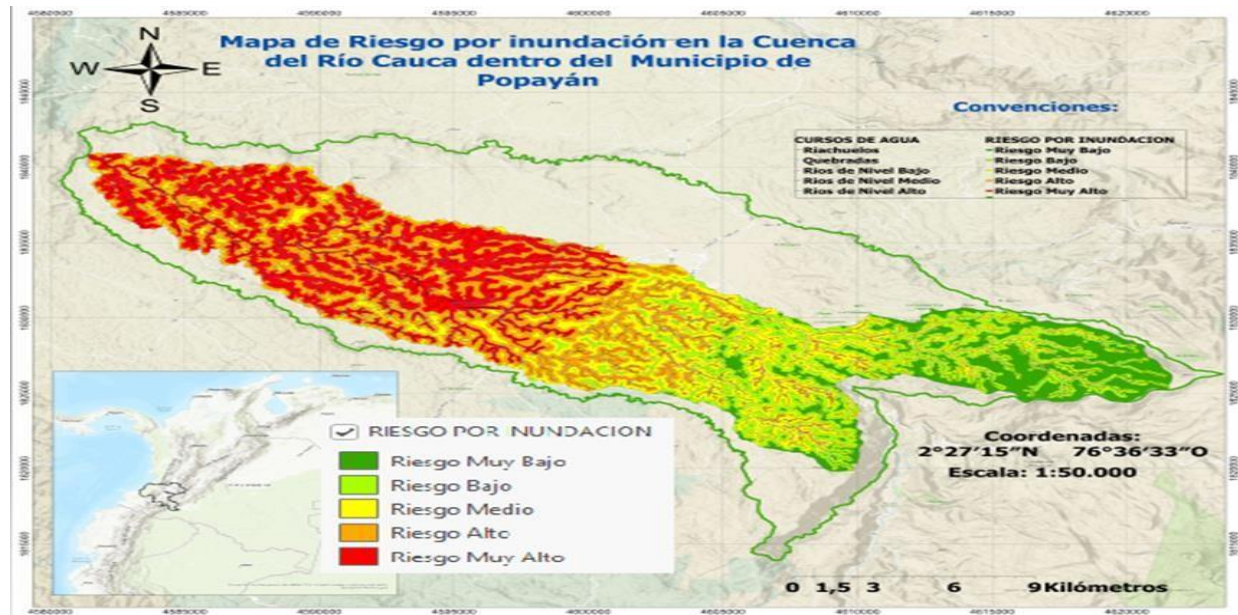
Figura 22. (Suavizar línea – Smooth line) de Streams\_mun.



Elaboración propia, 2025

**Fase 5. Construcción del producto Cartográfico final:** Durante el desarrollo del proceso, se documentaron todas las operaciones clave mediante capturas de pantalla de ArcGIS Pro, incluyendo configuraciones de análisis, reclasificaciones, conversiones y simbología como lo muestra la figura 23. Esta documentación aseguró la trazabilidad y reproducibilidad de la metodología aplicada.

Figura 23. Mapa final de índice riesgo clasificado en niveles (riesgo muy bajo, bajo, medio, riesgo alto, muy alto) en la cuenca del río Cauca dentro del municipio de Popayán Cauca

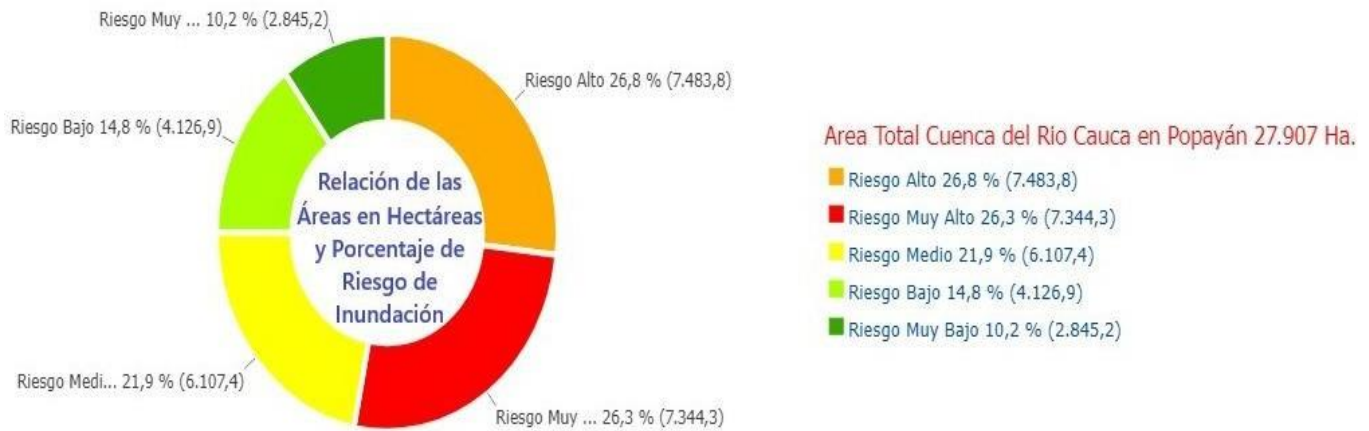


Elaboración propia, 2025

## Identificación de Áreas

Con la vectorización de los niveles de riesgo con el uso del arcgis pro se pudo calcular las diferentes áreas para cada nivel de riesgo y generar una visión más amplia en un gráfico como lo muestra la figura 24

Figura 24. Gráfica de distribución de los niveles de riesgo de inundación en relación con la calificación obtenida para cada (Área vs % Riesgo de inundación).



Elaboración propia, 2025

Nota: La gráfica muestra cómo se distribuye el porcentaje de riesgo en el municipio de Popayán según diferentes categorías de riesgo.

**Figura 25:** Metodología del análisis multicriterio y geoprocesos realizados en ARCGIS PRO para identificar niveles de riesgo de inundación.



Elaboración propia, 2025

Diagrama metodológico utilizado para realizar el Análisis multicriterio del riesgo de inundación en la cuenca del Rio Cauca dentro del municipio de Popayán Cauca mediante el uso del software ArcGIS PRO

## Resultados

Con el análisis multicriterio del riesgo de inundación en la cuenca del Rio Cauca dentro del municipio de Popayán, pudimos identificar como se encuentran zonificadas y distribuidas las veintisiete mil novecientos siete hectáreas pertenecientes a esta cuenca (27.907 Ha), generando una descripción cualitativa, donde le otorgamos una calificación numérica según el nivel de riesgo. Dichos insumos nos permitieron generar recomendaciones correctivas para el ordenamiento y gestión de la cuenca apoyados en los principios de sostenibilidad agroambiental, al comprender la distribución espacial del riesgo y sus implicaciones para la población.

Tabla 1. Atributos de las áreas de riesgo calculadas

Categoría	Clase de Riesgo	Área Ha	%
1	Riesgo Muy Bajo	2.845	10,2
2	Riesgo Bajo	4.127	14,8
3	Riesgo Medio	6.107	21,9
4	Riesgo Alto	7.484	26,8
5	Riesgo Muy Alto	7.344	26,3
<b>Área total de la Cuenca</b>		<b>27.907</b>	<b>100</b>

Nota: la tabla muestra las cinco categorías de niveles de riesgo distribuida en hectáreas y en porcentaje de la cuenca del Río Cauca

Elaboración propia, 2025

**Categoría 1:** Zona de alta montaña abarca 2.845 Hectáreas equivalentes al 10,2% tienen un nivel de riesgo por inundación muy bajo al estar próxima al origen mismo de la macrocuenca del Río Cauca. Presenta muy buena área de bosques subandinos, humedales, hasta bosques altoandinos y páramo (Alcaldía de Popayán ,2.025).

El área en su mayoría son zonas rurales más alejadas, identificadas como de riesgo muy bajo, podrían enfrentar encharcamientos menores en áreas agrícolas, sin consecuencias graves para la infraestructura urbana. (Recaman, 2016).

**Categoría 2:** Zona de media montaña equivalente al 14,8% abarca 4.126 Hectáreas presenta un nivel de riesgo bajo y son áreas destinadas mayormente a ganadería, pastos, sistemas silvopastoriles, potreros y maderables, la Cuenca del Río Cauca dentro de Popayán es muy montañosa, puesto que el nacimiento de este gran río se origina a cincuenta kilómetros al Suroeste de este municipio, en el Páramo de Sotará en el cerro de “El Español” (Alcaldía de Popayán ,2.025).

En contraste, la parte sureste del mapa, donde se encuentran sectores como el Centro Histórico, La Paz y Villa del Viento, muestra un riesgo bajo a muy bajo. Aunque estas zonas no suelen inundarse con frecuencia, las lluvias intensas pueden causar encharcamientos, sobrecarga del sistema de alcantarillado y posibles daños estructurales en edificaciones antiguas. (Recaman, 2016).

**Categoría 3:** Mientras que el 21,9% del área de la cuenca en pie de loma es equivalente a 6.107 Hectáreas y presenta un nivel de riesgo medio, estos terrenos los podemos catalogar como colinas de suaves ondulaciones presentes en toda la periferia del casco urbano y aunque el área este estrechamente relacionada con vertientes y nacideros, su topografía la convierte en una zona de riesgo medio, salvo en caso de estancamientos, derrumbes o avalanchas.

En el nivel de riesgo medio, representado en amarillo, se incluyen barrios como Campiña del Río, El Uvo y la parte baja de Las Américas, donde las inundaciones pueden ser más esporádicas, pero igual representan una amenaza significativa para las viviendas y la infraestructura urbana, especialmente si coinciden con crecidas del río o fallas en el drenaje pluvial. (Recaman, 2016).

**Categoría 4:** Un 26,8% del área de esta cuenca, es decir 6.483 Hectáreas presentan un alto riesgo de inundación, área donde encontramos la cabecera municipal que incluye zonas industriales y comerciales, dicha área la podemos ubicar fácilmente en la parte media y plana del municipio, zona denominada como el Valle de Pubenza.

En esta categoría podemos ubicar barrios como Villa Docente, Palermo y Tomás Cipriano. Estos sectores, aunque no están en el punto más crítico, podrían sufrir daños importantes, como la pérdida de cultivos en zonas rurales, afectaciones en viviendas y suspensión temporal del tránsito por vías locales. (Recaman, 2016).

**Categoría 5:** Las zonas más bajas de la cuenca y con poca capacidad de drenaje presentan un muy alto riesgo de inundación, son terrenos propensos a fuertes inundaciones, en ocasiones por su proximidad a cuerpos de agua estos terrenos principalmente son destinados a explotación agrícola heterogénea con cultivos transitorios y/o permanentes y ocupan 7.344 Hectáreas y le representan el 26,3% del total de su Área, estos terrenos, son los que requieren mayor intervención en el plan de ordenamiento territorial en el municipio.

En la parte noroccidental del municipio se concentran las zonas clasificadas con riesgo muy alto (color rojo), donde predominan las pendientes pronunciadas y múltiples afluentes del río. Barrios como La Rejoja, Santa

Bárbara, Lomas de Granada, Villa del Norte y Los Robles estarían entre los más vulnerables ante una eventual inundación. Las afectaciones en estos sectores podrían incluir pérdida total de viviendas, colapso de vías terciarias, problemas de salud pública y afectación de redes de servicios básicos (Recaman, 2016).

Este panorama deja en evidencia que el riesgo de inundación en Popayán no solo está ligado a la geografía, sino también al uso del suelo y a la falta de infraestructura adecuada. Por eso, es urgente que se tomen medidas como la reubicación de viviendas en zonas críticas, la instalación de sistemas de alerta temprana y el fortalecimiento del sistema de drenaje (Rodríguez y Pinza, 2023; Sinisterra et al, 2015). También es clave conservar la cobertura vegetal en las partes altas de la cuenca, para reducir la escorrentía y mitigar el impacto de las lluvias.

### **Impacto Potencial en la Región**

El incremento de fenómenos climáticos tienen un impacto directo dentro de la cuenca del río Cauca, afectando su población, esto se suma a un desarrollo urbanístico descontrolado y sin planificación que agudiza la problemática que no solo genera pérdidas económicas, sino que también deteriora ecosistemas, alterando la Flora y la Fauna dentro de la cuenca al igual que tiene sus implicaciones sobre la producción agropecuaria local y en el peor de los escenarios amenaza la propia vida, la seguridad alimentaria y las actividades económicas que de allí se desprenden.

Las inundaciones en la región de Popayán, especialmente en las zonas identificadas como de alto y muy alto riesgo en la cuenca del río Cauca, que incluyen La Yunga, Campobello Julimito Alto y Villa Esmeralda (Cajete), así como aquellas clasificadas con un riesgo muy alto, como Santa Bárbara, San Bernardino y el centro poblado de Popayán pueden generar una serie de impactos negativos. En el aspecto social, se pueden presentar pérdidas totales o parciales de viviendas, desplazamientos de familias a albergues temporales, afectaciones a la salud por la proliferación de enfermedades transmitidas por vectores y aguas contaminadas, interrupción del calendario escolar y un impacto psicológico considerable en las personas, especialmente en niños y adultos mayores (Parra et al, 2024).

Pinos (2016) refiere que, desde el punto de vista económico, las inundaciones pueden dañar gravemente la infraestructura vial, eléctrica y sanitaria, así como causar pérdidas en la producción agrícola, afectar el comercio local y aumentar los costos que deben asumir tanto las autoridades como las familias para la recuperación. En el plano ambiental, es probable que se genere erosión del suelo, pérdida de cobertura vegetal, contaminación de quebradas y ríos por residuos sólidos y líquidos, además de la alteración de ecosistemas ribereños que son hábitat de diversas especies. A todo esto, se suma el impacto sobre la planificación del territorio, ya que algunas comunidades podrían requerir ser reubicadas, y ciertos sectores urbanos podrían dejar de ser habitables o requerir un cambio en su uso del suelo (Sedano,2013).

A partir de estos resultados podemos estructurar planes de manejo del territorio y mejor gestión del riesgo por inundación, este tipo de estratificación de zonas se pueden utilizar como herramienta base para un mejor ordenamiento territorial, priorizar el uso de suelo, invertir adecuadamente en infraestructura de drenajes y contención en pro de la sostenibilidad de la cuenca.

Por otra parte, reto principal y las limitantes de un manejo adecuado de la cuenca se manifiestan principalmente a través de la explotación no racional de sus recursos naturales y conflictos de tenencia de tierra, la falta de un manejo adecuado de residuos sólidos y aguas negras, los asentamientos suburbanos, que sumados a el cambio climático dificultan un buen ordenamiento agroambiental del territorio.

## Conclusiones

- Los asentamientos urbanos a lo largo de las riberas del Río Cauca, como son el centro poblado de Popayán en Santa Bárbara y San Bernardino, representan un grave problema. Al ubicarse en zonas naturalmente inundables, estas comunidades no solo sufren pérdidas económicas significativas debido a daños en infraestructura, enseres y cultivos, sino que también contribuyen a la degradación ambiental. Estos desarrollos urbanos son responsables directos de la contaminación del agua y la deforestación de las riberas, lo que agrava aún más el riesgo de desastres. La problemática aumenta con la influencia del cambio climático. Todo esto convierte a estas áreas en escenarios potenciales de riesgo de inundación, generando cuantiosas pérdidas y desestabilizando la economía regional.
- Los resultados obtenidos no solo facilitan la comprensión del riesgo por inundaciones, además proporcionan bases sólidas para el diseño de estrategias de adaptación y gestión del riesgo basado en datos precisos, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y al bienestar de las comunidades locales. Estas tecnologías permiten analizar e identificar zonas de riesgo y tomar decisiones de planificación territorial de manera proactiva y pertinente, los SIG facilitan la anticipación a eventos extremos; esto a su vez, permite generar conciencia sobre la gestión del riesgo y fortalecer las capacidades de prevención, mitigación y control.
- Dada su ubicación en las cotas bajas de la cuenca del río Cauca y las áreas de baja pendiente, los sectores de La Yunga y Campobello, Santa Bárbara y San Bernardino son especialmente vulnerables a las inundaciones, experimentando una significativa acumulación de agua y desbordamientos durante las temporadas de lluvias intensas. De igual forma, el centro poblado de Popayán enfrenta un riesgo considerable, lo que resalta una vulnerabilidad generalizada, particularmente en las proximidades del río Cauca. Las áreas periurbanas y rurales, como Julimito Alto y Villa Esmeralda (Cajete), también son zonas susceptibles. En este trabajo, la creación de un mapa de riesgo por inundación se erige como una herramienta crucial para optimizar la gestión agroambiental de la cuenca y elevar la calidad de vida de sus habitantes, al permitir la focalización de acciones en las zonas de mayor riesgo. Además, este tipo de herramientas fomenta el desarrollo de habilidades técnicas y científicas esenciales para afrontar los retos de la sostenibilidad territorial, el diseño de productos cartográficos avanzados y la delimitación precisa de la cuenca hidrográfica. Esto ilustra cómo las tecnologías SIG pueden proporcionar una comprensión integral del territorio, facilitando la solución de problemas ambientales específicos y promoviendo un desarrollo verdaderamente sostenible.

## Recomendaciones:

- Las zonas identificadas con un alto riesgo de inundación, que incluyen La Yunga, Campobello Julimito Alto y Villa Esmeralda (Cajete), así como aquellas clasificadas con un riesgo muy alto, como Santa Bárbara, San Bernardino y el centro poblado de Popayán, demandan una atención prioritaria e inmediata. Es crucial implementar medidas preventivas y de mitigación que abarquen desde la reforestación y el control estricto del uso del suelo hasta la conservación y recuperación de zonas de amortiguamiento (zonas búfer).
- La participación comunitaria y la educación ambiental son pilares fundamentales para garantizar una gestión preventiva y sostenible del territorio. Se propone fortalecer campañas de sensibilización dirigidas a las comunidades asentadas en zonas de riesgo, con el fin de fomentar prácticas de conservación, uso responsable del territorio y preparación ante eventos de inundación. Asimismo, es clave impulsar procesos de veeduría ciudadana que supervisen el cumplimiento de la normativa sobre uso del suelo y la ejecución de proyectos en áreas críticas.
- En las zonas rurales y periféricas de la cuenca, es prioritario proteger y conservar los bosques ribereños y demás ecosistemas asociados, ya que cumplen funciones clave como barreras naturales frente a la

escorrentía y la erosión. Por lo tanto, se recomienda desarrollar campañas de reforestación con especies nativas, así como promover prácticas de manejo agroambiental sostenible en las zonas agrícolas con el fin de reducir la presión sobre el suelo.

- Se recomienda modernizar los sistemas de canalización y evacuación de aguas lluvias mediante las nuevas tecnologías de ingeniería hidráulica y sanitaria, complementadas con siembras de agroforestales, zonas verdes, barreras cortavientos y cercas vivas. Estas medidas, además de mitigar los efectos de las lluvias intensas, contribuyen a mejorar el paisaje urbano y la calidad ambiental del entorno.

## Referencias bibliográficas

- Alcaldía Municipal de Popayán. (2017). Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres (PMGRD). <https://www.popayan.gov.co/NuestraAlcaldia/PlanesInstitucionalesyEstrategicos/Plan%20Municipal%20de%20Gesti%C3%B3n%20del%20Riesgo%20de%20Desastres%20de%20Popay%C3%A1n.pdf>
- Alcaldía Municipal de Popayán. (2022). Plan de Desarrollo Municipal 2020-2023. Popayán, Colombia. <https://popayan.gov.co>
- Djanibekov, U., Polyakov, M., Craig, H., y Paulik, R. (2024). Flood Impacts on Agriculture under Climate Change: The case of the Awanui Catchment, New Zealand. *Economics of Disasters and Climate Change*, Vol. 8, pp. 283–316. <https://doi.org/10.1007/s41885-024-00147-3>
- Efrimidou, E., y Spiliotis, M. (2024). A GIS-Based flood risk assessment using the decision-making trial and evaluation laboratory approach at a regional scale. *Environmental Process*. No. 11, Article:9. <https://doi.org/10.1007/s40710-024-00683-w>
- Escolano Utrilla, S. (2015). Primera parte. 2. La representación del espacio geográfico en los SIG: Modelos de datos. En S. Escolano Utrilla (Ed), *Sistemas de información geográfica: Una introducción para estudiantes de geografía* (pp. 47-78). Prensas de la Universidad de Zaragoza. <https://elibronet.bibliotecavirtual.unad.edu.co/es/lc/unad/titulos/44840>
- González Valencia, J. (2006). Propuesta metodológica basada en un análisis multicriterio para la identificación de zonas de amenaza por deslizamientos e inundaciones. *Revista Ingenierías Univ. de Medellín*. <https://researchebscocom.bibliotecavirtual.unad.edu.co/linkprocessor/plink?id=7d5a99fe-dbcf-33b6-943e-dd92eebf52b6>
- Hernández Sampieri, R. (2019). *Metodología de la Investigación Plus*. McGrawHill - Plus. <https://www-ebooks7-24-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/?il=34866>
- Olaya, V. (2020). *Sistemas de Información Geográfica*. [https://openlibrary.org/works/OL17311222W/Sistemas\\_de\\_informaci%C3%B3n\\_geo%C3%A1fica](https://openlibrary.org/works/OL17311222W/Sistemas_de_informaci%C3%B3n_geo%C3%A1fica)
- Parra Saad, A., Sanabria Buitrago, M., Sanabria, R., & Piñeros Dueñas, K. N. (2024). Incorporación de factores socioeconómicos al análisis de vulnerabilidad del riesgo por inundación en vías usando un modelo geoespacial. *Investigaciones Geográficas*, (80), 1-15. <https://doi.org/10.14198/INGEO.25788>
- Pineda, L., y Suarez, J. (2014). Elaboración de un SIG orientado a la zonificación agroecológica de los cultivos. *Revista Ingeniería Agrícola*, Vol. 4(3), pp. 28-32. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=586262041005>

- Pinos-Arévalo, N. J. (2016). Prospectiva del uso del suelo y cobertura vegetal en el ordenamiento territorial - Caso cantón Cuenca. Estoa. Revista de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca, 5(9), 7-19. <https://doi.org/10.18537/est.v005.n009.02>
- Recamán Mejía, L. (2016). Manejo adaptativo del territorio para la gestión hídrica en fuentes abastecedoras de Popayán, Cauca (Colombia). Revista Novedades Colombianas, 13(2), 45-60. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/novedades/article/view/2301>
- Rodríguez Castro, D. A., & Pinza Palechor, M. A. (2023). Repositorio Institucional UDISTRITAL. Análisis geoespacial para identificar las zonas susceptibles a inundación: Caso de estudio cuenca media del río Sinú [Trabajo de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio Institucional. <https://repository.udistrital.edu.co/items/eb7713fc-78e2-4a66-b0b1-69cc1b234e4f>
- Sedano Cruz, R. K. (2013). Gestión integrada del riesgo de inundaciones en Colombia. Senisterra, G. E., Gaspari, F. J., & Delgado, M. I. (2015). Zonificación de la vulnerabilidad ambiental en una cuenca serrana rural. Revista Estudios Ambientales, 3(1), 38-58. <http://131.221.1.66/index.php/estudios-ambientales/article/view/38>
- Sosa-Franco, I., Pérez-Guerra, G., Machado-García, N., & Elena-Ruiz Pérez, M. (2023). Method for query processing in a geographic information system. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, Vol. 32(2), pp. 1–9. <https://research-ebSCO-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/linkprocessor/plink?id=033edfb1-14a2-3d6e-80bf-572383cf71b3>
- Universidad Nacional Abierta y a Distancia (2020). Instructivo para la usabilidad de Normas internacionales de citación APA 7a Edición. Repositorio Institucional UNAD. [https://repository.unad.edu.co/static/pdf/Norma\\_APA\\_7\\_Edicion.pdf](https://repository.unad.edu.co/static/pdf/Norma_APA_7_Edicion.pdf)
- Urrea-Ceferino, G., Pinto Suarez, C. A., Jimeno Carrascal, D. L., Yanez Ventura, D. A., & Tapia Contreras, H. J. (2023). Housing vulnerability, agricultural production, and goods lost estimated to floods in Rio Nuevo a rural community in Colombia. *Economia agro-alimentare*, 25(1), 121–137. <https://doi.org/10.3280/ecag2023oa14657>

**Enlace de sustentación:**

[https://youtu.be/b9WdY3UCu04?si=GG\\_PwxT3E5ALDIOn](https://youtu.be/b9WdY3UCu04?si=GG_PwxT3E5ALDIOn)